

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

# Návrh výpočtového a měřicího řetězce setrvačnickové válcové zkušebny výkonu

## Design of Measuring Chain and Power Calculation for Inertial Dynamometer

Autor:

Ondřej Liška

Vedoucí práce:

Ing. Jakub Šmirus

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Liška**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2301R003 Dopravní technika a technologie**  
Téma: **Návrh výpočtového a měřicího řetězce setrvačnickové válcové zkušebny výkonu**  
**Design of Measuring Chain and Power Calculation for Inertial Dynamometer**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Cíle práce:

1. Návrh měřicího řetězce zkušebny.
2. Návrh algoritmu pro výpočet výkonu motoru.

Osnova práce:

1. Úvod
2. Popis funkce válcových zkušeben pro měření výkonu
3. Postup výpočtu výkonu motoru při měření na setrvačnickové válcové zkušebně
4. Popis konstrukce válcové motorové brzdy a měřicího řetězce
5. Kalibrace výpočtového modelu válcové zkušebny reálným měřením
6. Shrnutí dosažených výsledků práce
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- MATĚJKA, R.: Vozidla silniční dopravy I. VŠDS Žilina, Bratislava: Alfa Bratislava.  
MATĚJKA, R.: Vozidla silniční dopravy II. VŠDS Žilina, Bratislava: Alfa Bratislava, 1981.  
VLK, F.: Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 2000.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Šmiraus**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



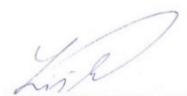
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## Místopřísežné prohlášení

Tímto prohlášením se zavazuji, že jsem ve své práci nepoužil výsledků práce nikoho jiného a neporušil ničí duševní vlastnictví bez řádného uvedení zdrojů použité literatury a jejich citování. Při tvorbě práce jsem se snažil vytvořit vlastní a originální projekt.

V Ostravě dne 21.5.2018

Podpis:.....



## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ondřej Liška

Pode Břehy 387,

Staré Město 738 01

V Ostravě dne 21.5.2018

Podpis:.....

## Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubovi Šmirusovi za pedagogickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce. Dále také za vypůjčení materiálů a literatury nutné pro zpracování této práce. Nakonec bych rád poděkoval panu Ing. Pavlu Dreslerovi za odborné konzultace k uvedení do problematiky.

V Ostravě dne:

## Anotace bakalářské práce

LIŠKA, O. Návrh výpočtového a měřicího řetězce setrvačnickové válcové zkušebny výkonu: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2018, 57 s. Vedoucí práce: Šmiraus, J.

Práce se zabývá návrhem měřicího řetězce válcové setrvačnickové zkušebny výkonu pro měření motocyklů. Jednotlivé měřicí přístroje a funkční prvky jsou navrženy podle stanovených požadavků. Dále je popsán postup vyhodnocování výsledků měření z naměřených vstupních dat. V závěru práce je popsán součinitel, který ovlivňuje výkon motoru během měření. Je zde objasněn postup kalibrace před prvním měřením na válcové zkušebně.

Klíčová slova: válcová zkušebna, výkon, moment, měřicí řetězec, ztrátový součinitel

## Annotation of Bachelor Thesis

LIŠKA, O. Design of measuring chain and power calculation for inertial dynamometer: Bachelor thesis: Ostrava: VŠB-TU of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, The Institute of Transport, 2018, 57 p. Thesis head: Šmiraus, J.

The thesis deals with the design of the measuring mill of the cylindrical flywheel inertia dynamometer station for motorcycles. The individual measuring instruments and functional elements are designed according to the specified requirements. The procedure for evaluating the results from the measured input data is described below. A factor that affects the engine power during the measurement is described at the end of the thesis. The calibration procedure before the first measurement on the cylindrical flywheel inertia dynamometr is clarified as well.

Key words: cylindrical flywheel inertia dynamometer, power, torque, measuring mill, factor of affects



# Obsah

1	Úvod .....	12
2	Popis funkce válcových zkušeben pro měření výkonu .....	13
2.1	Teoretický rozbor .....	13
2.1.1	Spalovací motor .....	13
2.1.2	Parametry motoru .....	13
2.2	Zkušebny pro měření výkonu .....	15
2.2.1	Měření na motorové brzdě .....	15
2.2.2	Měření výkonu na válcové zkušebně.....	16
2.2.3	Měření výkonu na zkušebnách bez válcového uspořádání.....	18
2.3	Zařízení válcových zkušeben pro disipaci energie.....	19
2.3.1	Hydraulické dynamometry .....	19
2.3.2	Elektromagnetické vířivé dynamometry .....	20
2.3.3	Elektrické dynamometry .....	21
2.4	Metody zatěžování během měření výkonu .....	21
2.4.1	Dynamická metoda .....	21
2.4.2	Statická metoda .....	21
2.5	Požadavky a druhy zkoušek válcových zkušeben .....	22
2.5.1	Požadavky na válcové zkušebny.....	22
2.5.2	Druhy zkoušek na válcových zkušebnách .....	23
2.6	Postup měření výkonu motocyklu.....	23
3	Postup výpočtu výkonu motoru při měření na setrvačnickové válcové zkušebně .....	25
3.1	Výpočet parametrů.....	29
4	Popis konstrukce válcové motorové brzdy a měřicího řetězce.....	32
4.1	Válcová brzda .....	32
4.1.1	Úprava válce pro detekci polohy .....	34
4.1.2	Rám zkušebny .....	35
4.2	Snímač otáček válce .....	36
4.2.1	Hallův snímač .....	36
4.2.2	Indukční snímač.....	37
4.2.3	Optický snímač .....	37
4.2.4	Ultrazvukový snímač .....	37
4.2.5	Snímač otáček MX5017 .....	38
4.3	ECU měřicí karta.....	39
4.3.1	Měřicí karta LabJack U12 .....	40
4.4	Indukční kleště .....	41
4.4.1	Vysokonapěťové kleště HVC95.....	41

4.5	Teplotní senzor .....	42
4.5.1	Termistory NTC .....	42
4.5.2	Termistory PTC .....	43
4.5.3	Teplotní senzor EI1034 .....	44
4.6	Počítač .....	44
4.7	Finanční náklady měřicího řetězce .....	46
5	Kalibrace výpočtového modelu válcové zkušebny reálným měřením .....	48
5.1	Postup při návrhu ztrátového součinitele .....	48
5.2	Ztráty při měření .....	48
5.2.1	Valivý odpor .....	49
5.2.2	Tření ložisek .....	50
5.2.3	Ztráty v převodovém ústrojí .....	50
6	Shrnutí dosažených výsledků práce .....	52
7	Závěr .....	53
8	Seznam použité literatury .....	54
9	Seznam příloh .....	57

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$P...$	výkon motoru
$M_t...$	točivý moment motoru
$P_e...$	efektivní výkon
$M_k...$	točivý moment na kole
$F_k...$	síla na hnacím kole
$P_k...$	výkon hnacího kola
$P_z...$	ztrátový výkon
$P_s...$	výkon setrvačníku
$J_c...$	celkový moment setrvačnosti
$J_{\text{válce}}...$	moment setrvačnosti válce
$J_{\text{čepu}}...$	moment setrvačnosti čepu
$J_{\text{ložiska}}...$	moment setrvačnosti ložiska
$n_v...$	otáčky válcového setrvačníku
$f...$	frekvence otáček
$v...$	obvodová rychlost válce
$m...$	hmotnost
$\omega...$	úhlová rychlost
$E...$	kinetická energie
$\Delta E...$	rozdíl kinetické energie
$W...$	mechanická práce
$t...$	doba zkoušky
ECU...	Electronical control unit
PTC...	Positive temperature coefficient
NTC...	Negative temperature coefficient

# 1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá problematikou měření výkonu a krouticího momentu. Tyto veličiny jsou důležitými parametry silničních vozidel. V dnešní době se tato problematika stává velice aktuální, jelikož je důležitou součástí při vývoji nových pohonných jednotek a diagnostice poruch motorů. Tyto zařízení se také čím dál častěji začínají využívat v souvislosti s různými sportovními úpravami motorů. V neposlední řadě se také používají při emisních zkouškách, kde jsou schopny simulovat jízdu silničního vozidla. Princip spočívá v měření síly, která působí na povrch válce, který je roztáčen hnacími koly vozidla.

Jak z názvu vyplývá, cílem mé bakalářské práce je návrh měřicího řetězce, který bude svými parametry vyhovovat, jako při zakoupení zkušebny pro měření. Tuto tematiku jsem si zvolil proto, jelikož mě velice zajímá, jak se měří výkon vozidel a dále jakým způsobem jsou přínosem pro silniční vozidla. Od této práce očekávám, že návrh měřicího řetězce bude inspirací, při výrobě válcové zkušebny. Mezi mé další vize patří, aby zařízení sloužilo také pro studenty, kteří mají zájem o tuto tematiku a měli možnost se dozvědět nové informace.

Abych byl schopen navrhnout algoritmus pro výpočet výkonu motoru, je důležitou součástí mé práce zpracování teorie. V této části budou definovány podmínky pro dosažení přesných hodnot parametrů motoru, které budou klíčové pro finální kalibraci výpočtového modelu.

První zařízení pro měření výkonu, byly svou konstrukcí a funkčním principem velice jednoduchá. Bez žádných nároků na pracoviště. Z tohoto plyne, že přesnost těchto zařízení byla velice nízká. Avšak v této době, nebyly kladeny takové nároky na vozidla, jako tomu je dnes. V dnešní době jsou mnohem přísnější normy na výrobu silničních vozidel, a proto se také tyto zařízení začaly vyvíjet. Hlavně z hlediska spotřeby paliva a minimalizace emisí. Tyto důsledky mají dopad na ekologii a životní prostředí. Mezi tyto požadavky dále také patří zvyšování výkonu spalovacích motorů a jejich účinnost.

## 2 Popis funkce válcových zkušeben pro měření výkonu

Kapitola je věnována pístovým spalovacím motorům a jejich základním parametrům. Níže je popsán spalovací motor, parametry motoru a jejich vzájemná závislost.

### 2.1 Teoretický rozbor

#### 2.1.1 Spalovací motor

V současnosti, je nejrozsáhlejší pohonnou jednotkou silničních motorových vozidel pístový spalovací motor. Jedná se o tepelný motor, který má svůj vlastní zdroj tepelné energie. Tepelná energie je uvolněna z chemického procesu. K tomuto procesu dochází během spalování. Při spalování je důležité, aby byla přítomna další látka – kyslík. Kyslík je obsažen v okysličovadle. Pro návrh správného spalovacího cyklu, je za potřebí dodržet množství přítomného kyslíku v zápalné směsi. [4]

Důsledkem vytvoření tepelné energie dochází pomocí spalovacího motoru k přeměně na mechanickou energii. Tuto energii lze poté využít například pro pohyb silničního vozidla. [4]

#### 2.1.2 Parametry motoru

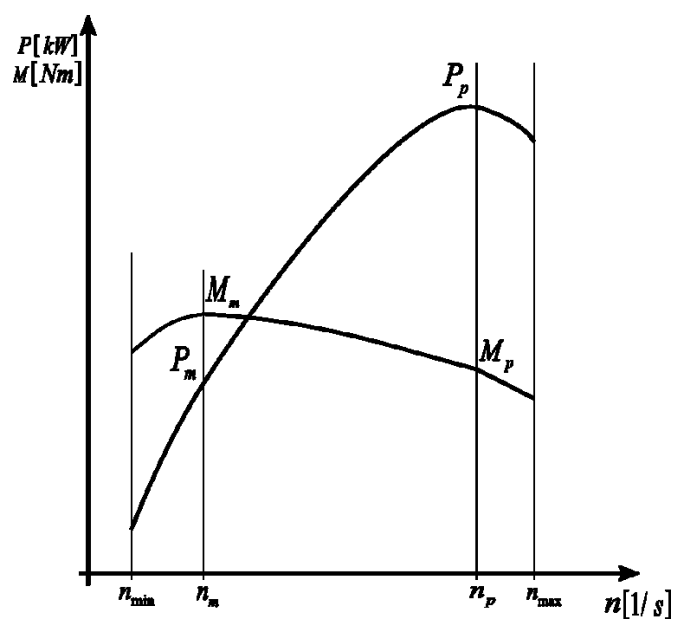
Pro hodnocení spalovacího motoru jsou výchozím podkladem jeho charakteristiky. Charakteristiky výkonu zobrazují závislosti mezi výkonem  $P$  a jeho dvěma složkami. Složky, které definují výkon jsou: *točivý moment*  $M$  a *otáčky motoru*  $n$ . Tyto základní veličiny jsou vázány vztahem (1.1), a proto každému bodu charakteristiky kroutícího momentu nebo otáčkám odpovídá určitá hodnota výkonu.

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_m \cdot n_m}{60 \cdot 1000} \quad (1.1)$$

$P$ ... výkon [kW]

$M_m$ ... točivý moment [Nm]

$n_m$ ...otáčky motoru [ot/min]



Obrázek 1 Graf závislosti mezi výkonem, točivým momentem a otáčkami [1]

$n_{\min}$ ... otáčky volnoběhu

$n_M$ ... otáčky nejvyššího točivého momentu

$n_p$ ... otáčky nejvyššího výkonu

$n_{\max}$ ... maximální otáčky motoru

$P_m$ ... výkon odpovídající nejvyššího točivého momentu

$P_p$ ... nejvyšší výkon motoru

$M_p$ ... točivý moment odpovídající nejvyššímu výkonu

$M_m$ ... hodnota odpovídající nejvyššího točivého momentu

## 2.2 Zkušebny pro měření výkonu

Tato podkapitola je věnována jednotlivým typům měřících zkušeben. Budou zde rozděleny principy měření na jednotlivých zkušebnách. Výhody a nevýhody, náročnosti na provoz.

### 2.2.1 Měření na motorové brzdě

Motorová brzda je zařízení, které se spíše využívá pro laboratorní testy měření výkonu motoru. Měření výkonu na motorové brzdě je velmi přesné, ale vyžaduje demontáž motoru z vozidla. Proto se nejčastěji využívá v laboratořích. V praxi je měřena síla  $F_b$  na rameni brzdy  $r_b$  a točivý moment vypočítáme podle vztahu (2.1.). Následně je vypočítán užitečný výkon motoru, který je přepočítán na teplotu 25 °C a atmosférický tlak. Takto naměřený a následně přepočítaný výkon motoru, udává výrobce automobilových vozidel jako základní hodnotu výkonu v parametrech vozidla, podle norem EURO pro výrobu a homologaci.

$$M_t = F_b \cdot r_b \quad (2.1)$$

$M_t$ ... točivý moment [Nm]

$F_b$ ... síla na rameni brzdy [N]

$r_b$ ...rameno brzdy [m]

$$P_e = M_t \cdot \omega \quad (2.2)$$

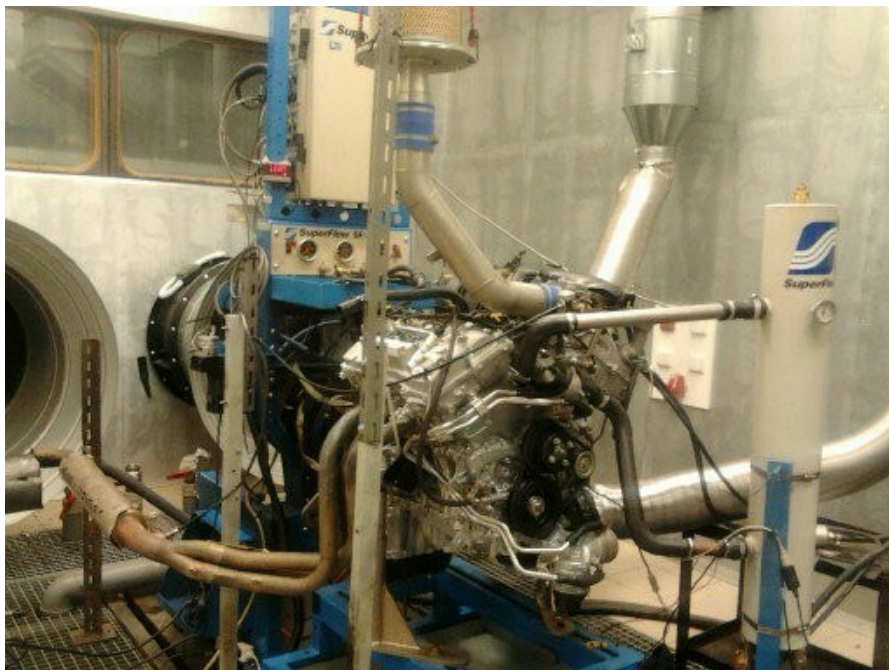
$P_e$ ...efektivní výkon [W]

$M_t$ ... točivý moment [Nm]

$\omega$ ...úhlová rychlost otáčení klikového hřídele [rad/s]

Před zahájením měření na motorové brzdě, je nutné motor přimontovat k rámu motorové brzdy. Pokud by motor nebyl bezpečně připevněn, mohlo by dojít k nepřesnosti měření, nebo také poškození zkušebny. Podmínkou této zkoušky je zahřátí motoru na provozní teplotu. Z důvodu co nejpresnějších výsledků měření. Nesmíme opomenout to, že bychom měli dbát na životnost motoru. Na obr. 2. vidíme spalovací motor, na kterém probíhá zkouška.

Při volbě měření na motorové brzdě je podstatné také dbát na nevýhody tohoto typu zařízení. Mezi hlavní nevýhody patří časová náročnost (demontáž pohonné jednotky z vozidla), finanční náklady a také obsluha tohoto zařízení.



Obrázek 2 Spalovací motor během zkoušky na motorové brzdě [9]

### 2.2.2 Měření výkonu na válcové zkušebně

Mezi hlavní výhody měření výkonu na válcové zkušebně je, že probíhá bez demontáže motoru. Je to velice úsporné, rychlé a ekonomické. Naměřený výkon je však ovlivněn odporem převodového ústrojí, rotační hmotou kol a dalšími prvky, které jsou k motoru připojeny.

Na válcové výkonové zkušebně měříme sílu na obvodu hnacího kola, která působí na povrch válce, který je roztočen hnacími koly vozidla. Tyto zařízení mají největší výhodu v tom, že nám umožňují měření výkonu při provozním zatížení, zatímco je vůči zemi v klidu.

$$M_k = F_k \cdot r_d \quad (2.3)$$

$M_k$ ...točivý moment na hřídeli hnacího kola [Nm]

$F_k$ ...síla na obvodu hnacího kola [N]

$r_d$ ... dynamický poloměr hnacího kola [m]



$$P_k = M_k \cdot \omega_k$$

(2.4)

$P_k$ ... výkon hnacího kola [W]

$M_k$ ... točivý moment na hřídeli hnacího kola [Nm]

$\omega_k$ ... úhlová rychlost otáčení hnacího kola [rad/s]

$$P_e = P_k - P_z$$

(2.5)

$P_e$ ... efektivní výkon [W]

$P_k$ ... výkon na hnacím kole [W]

$P_z$ ... ztrátový výkon [W]

Ztrátový výkon změříme na válcové zkušebně. Jedna z metod jak ztrátový výkon měřit je založena na samovolným zpomalením (doběhu). Metoda probíhá při vypnuté spojce. Na obrázku obr.3. můžeme vidět osobní automobil při měření na válcové zkušebně. Z obrázku je patrné, jak se na těchto zařízeních vozidla zabezpečují proti nežádoucímu pohybu. Lze také vidět zařízení pro odvod výfukových plynů.



Obrázek 3 Automobil při měření na válcové zkušebně [10]

V minulosti byly tyto zařízení většinou velmi konstrukčně jednoduché. Mohli jsme u nich vidět válce malých průměrů. Nevýhoda využití malých průměrů válce je ta, že nejsou schopny simulovat dostatečný kontakt pneumatiky s vozovkou tzn. valivý odpor pneumatik. Začaly se zvětšovat průměry válců z důvodu reálnějších podmínek trakce. Zkušebny začaly být osazovány dynamometry, které jsou schopny energii také měřit. Dále se vybavovaly několika setrvačníky, aby byl odstupňován moment setrvačnosti, kterými disponovali.

Zkušebny pro měření výkonu můžeme dělit podle počtu poháněných náprav vozidla. Pokud vozidlo disponuje dvěma hnanými nápravami, je zapotřebí další skupina válců pro tuto nápravu. Propojení obou sestav válců docílíme pomocí kardanu. Pro nastavení vzdálenosti mezi válci je nejčastěji využíván hydraulický systém. Na zkušebny, jenž slouží k vývoji diferenciálů, jsou kladeny nejpřísnější podmínky. Zde je nutné, aby každé kolo bylo brzděno nezávisle svým dynamometrem.



Obrázek 4 Zkušebna pro měření vozidel s oběma hnanými nápravami [11]

### 2.2.3 Měření výkonu na zkušebnách bez válcového uspořádání

Jak z názvu plyne, tento typ zkušeben pracuje na principu bez využití válců. Měření na zkušebnách tohoto typu probíhá tak, že kola vozidla je demontováno a je nahrazeno vlastní brzdou přimontovanou k náboji kola. Při měření odpadá styk kola s válcem. Tudíž je nutné monitorovat skluz.



Obrázek 5 Zkušebna bez válcového uspořádání typu rototest [12]

## 2.3 Zařízení válcových zkušeben pro disipaci energie

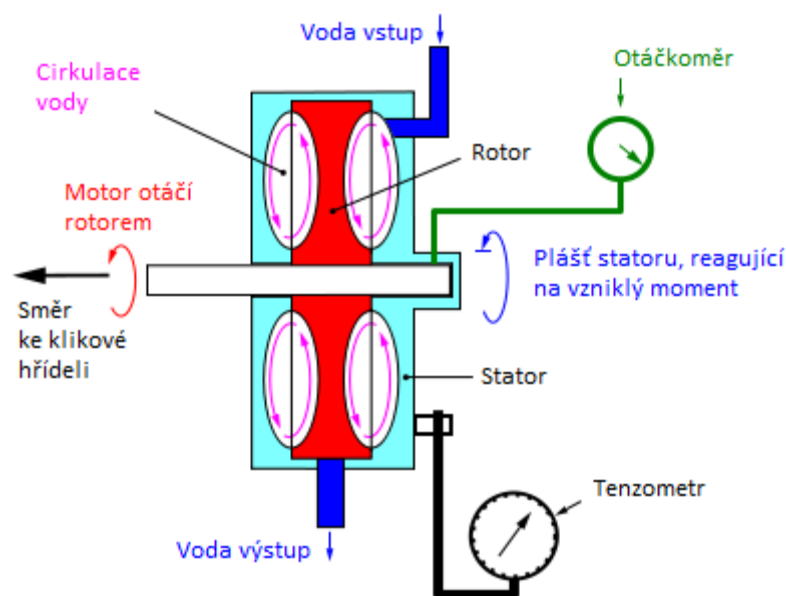
Na válce válcové zkušebny působí energie, která je vytvořena měřeným vozidlem. Brzdové systémy jsou zařízení, pomocí nichž je tato energie mařena. Tyto systémy rozlišujeme podle jejich konstrukce a principu na kterém pracují.

### 2.3.1 Hydraulické dynamometry

Přivedená pohybová energie se mění v teplo vnitřním třením částic dané kapaliny. Nejvíce využívanou kapalinou je voda. Proces probíhá ve statoru, který je vodotěsný. Obsahuje toroidní vybrání. Tato vybrání má ovšem také rotor. Mezi rotorem a státorem jsou vytvořeny dutiny ve kterých cirkuluje kapalina. Pohybem rotoru uvedeme kapalinu do pohybu. Dochází tak k většímu víření kapaliny a vlivem odporu vznikne brzdný účinek proti energii. Která je přivedena na rotor dynamometru. Brzdný účinek můžeme regulovat přivedením kapaliny pomocí ventilů, jenž jsou na přívodu a odvodu. Kapalina slouží jako pracovní médium. Také zastává funkce chlazení a odvodu zmařené energie.

Hydrodynamický dynamometr je jednoduché zařízení s nízkou pořizovací cenou. Má malý moment setrvačnosti, ale dovolí dosáhnout vysokých otáček. Potřebuje zde další zařízení pro dodání kapaliny, která je zde pracovním médiem. Nevýhodou tohoto typu brzdného systému je špatná regulace brzdného momentu.

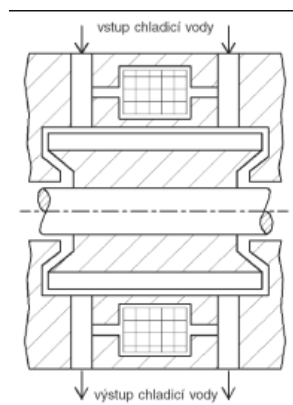




Obrázek 6 Schéma hydraulického dynamometru [13]

### 2.3.2 Elektromagnetické vířivé dynamometry

Pro vytvoření brzdného účinku využívá tento typ dynamometru vířivých proudů uzavřených nakrátko v tělese magnetického obvodu. Rotor dynamometru je většinou z oceli. Na statoru je umístěná budící cívka, kterou protéká stejnosměrný proud, jenž budí v magnetickém obvodu magnetický tok. Rotor se otáčí v magnetickém poli statoru a vlivem střídání zubu a mezery rotoru se mění magnetický odpor a tím i magnetický tok. Změna magnetického toku způsobuje indukování napětí v magnetickém obvodu, v důsledku čehož začnou obvodem protékat vířivé proudy. Působením vířivých proudů se vytvoří brzdný moment, přičemž velikost tohoto momentu je říditelná změnou proudu v budící cívce. Energie vířivých proudů je dána energií, která je dodána zkoušenou pohonnou jednotkou, a mění se v tělese magnetického obvodu vířivé brzdy na teplo. K odvodu tohoto tepla musí být vířivá brzda vybavena účinným chladicím systémem. [7]



Obrázek 7 Elektromagnetický vířivý dynamometr s radiální vzduchovou mezerou [7]

### 2.3.3 Elektrické dynamometry

U tohoto typu brzdového systému se v podstatě jedná o elektrický generátor. Nebo také elektromotor s výkyvně uloženým statorem. Výhoda těchto brzdných systémů, oproti předchozím je v té možnosti, že nezastávají funkci pouze brzdění energie. Mohou také pohánět kola vozidla a z tohoto důvodu lze také zjišťovat například brzdné síly, pozorovat funkci systému ABS a dalších.

## 2.4 Metody zatěžování během měření výkonu

Jak jsem již ve své práci zmínil, nároky na motory ve vozidlech jsou vyšší, než v předešlých letech. Postupem času se začala využívat celá řada způsobů, na nichž lze monitorovat jednotlivé parametry pohonu. Na základě těchto objevů, se začalo počítat i s novějšími metodami měření. Způsoby zatěžování rozdělujeme na dvě základní metody. Dynamická a statická metoda.

### 2.4.1 Dynamická metoda

Metoda spočívá ve vykreslení křivek výkonu a momentu v závislosti na otáčkách. U dynamické metody je výhodou časová nenáročnost, to znamená že motor není tak tepelně a mechanicky zatěžován. Při použití dynamického měření výkonu, klade zařízení zkušební odpor vůči roztáčejiím se součástí. Zařízení dynamometru má již od výrobce stanovený moment setrvačnosti. Pro měření je potřeba uvést také moment setrvačnosti daného motoru, tato hodnota však nebývá známa. Hodnotu jsme schopni určit například měřením ztrát v převodovém ústrojí nebo pomocí doběhové zkoušky.

### 2.4.2 Statická metoda

Jedná se o druhou z považovaných metod. Statická metoda není závislá na momentu setrvačnosti, jak tomu je u dynamické metody. Princip metody je založen na měření síly, která působí na určitém rameni při brzdění válce. Pomocí brzdění je motor udržován v konstantních otáčkách. Oproti metody dynamické je statická metoda přesnější a dochází při ní k lepšímu prohrátí motoru. Pokud je využita tato metoda hodnoty výkonu a momentu se zjišťují v předem stanovených bodech.

Hlavní výhodou je porovnání výsledku statické a dynamické metody, z důvodu ověření správnosti zadaného momentu setrvačnosti u dynamické metody, který je při zkoušce vkládán.

## 2.5 Požadavky a druhy zkoušek válcových zkušeben

Tato kapitola je rozdělena do dvou podkapitol, kde jedna z nich je věnována požadavkům kladených na zkušebny a druhá ze zmíněných popisuje zkoušky, které jsme schopni na těchto zařízeních provádět.

### 2.5.1 Požadavky na válcové zkušebny

Válcové zkušebny jsou zařízení, na které jsou brány požadavky z několika ohledů. Níže jsou popsány jednotlivé požadavky kladené na tyto technické zařízení.

- Technické požadavky

Mezi tyto požadavky patří hlavně důvody, ke kterým tyto zařízení využíváme. Slouží z pravidla pro vývoj nových pohonných jednotek silničních vozidel. Pro zkoušení vlastností pohonných jednotek a schopnosti přenosu síly na vozovku. Patří zde měření spolehlivosti, hluku či vibrací a diagnostika závad vozidla.

- Bezpečnostní požadavky

Každé z těchto zařízení by mělo být vybaveno přístroji pro bezpečný chod měření, ve smyslu zabránění možných nehod. Z těchto důvodů jsou zkušebny vybaveny systémem proti nežádoucímu pohybu vozidla během měření. Dalším důležitým faktorem je zajištění přívodu vzduchu pro spalovací motor, jelikož vozidlo je vůči zemi v klidu, ale motor je v pracovním režimu.

- Legislativní požadavky

Staly se jednou ze základních domén při zkoušení emisních testů, které jsou obsaženy v homologacích vozidel (např. Euro 6) a to díky simulaci jízdy vozidla v několika jízdních režimech. Dále jsou některé zkušebny využívány například při zkoušení bezpečnosti vozidel.



Obrázek 8 Měření výfukových zplodin [14]

### 2.5.2 Druhy zkoušek na válcových zkušebnách

Na válcové výkonné zkušebně můžeme provádět několik druhů zkoušek. Mezi základní zkoušky patří například kontinuální měření, diskrétní měření, test tachometru. Kontinuální měření probíhá při konstantním zrychlením a měříme výkon motoru. Diskrétní měření, kde výkon měříme v předem definovaném intervalu rychlosti, či v intervalech otáček. Přesnost tachometru vozidla změříme testem tachometru, který srovnáváme s počítadlem kilometrů.

Na válcové výkonné zkušebně však můžeme měřit hodnoty tlaku a teploty. Ve zkušebnách neprobíhá jen měření, ale také zatěžovací zkoušky. Součástí zatěžovacích zkoušek je jízdní simulace, která je dosti využívána. Je to velice rozšířená škála možností, kde si můžeme navolit například jízdní odpor na reálné trase.

## 2.6 Postup měření výkonu motocyklu

Na začátku měření, je nutné zahřát motor motocyklu na provozní teplotu. Tato podmínka je důležitá pro dosažení přesného výsledku měření. Motocykl najede na rám a je pevně přivázán. Toho je docíleno pomocí lanových kurtů. Tato příprava před měřením je nesmírně důležitá z hlediska bezpečnosti a přesnosti měření. Na obrázku níže je zobrazen motocykl připravený k měřicí zkoušce.



*Obrázek 9 Motocykl připravený k měření [15]*

Poté co je motocykl připevněn a motor má požadovanou provozní teplotu je možné přejít k samotnému měření. Samotná zkouška probíhá v intervalu rychlosti, který je volen podle měřicího zařízení. Pro představu je tento měřicí interval například od 25 do 85 km/h. Při dosažení této rychlosti je zapnut měřicí software a motocykl akceleruje do uvedené rychlosti. Následně motocykl samovolně zpomalí. Po odměření motocyklu jsou výsledná data nahrána do počítače, kde se provede výpočet průběhu výkonu a točivého motoru.

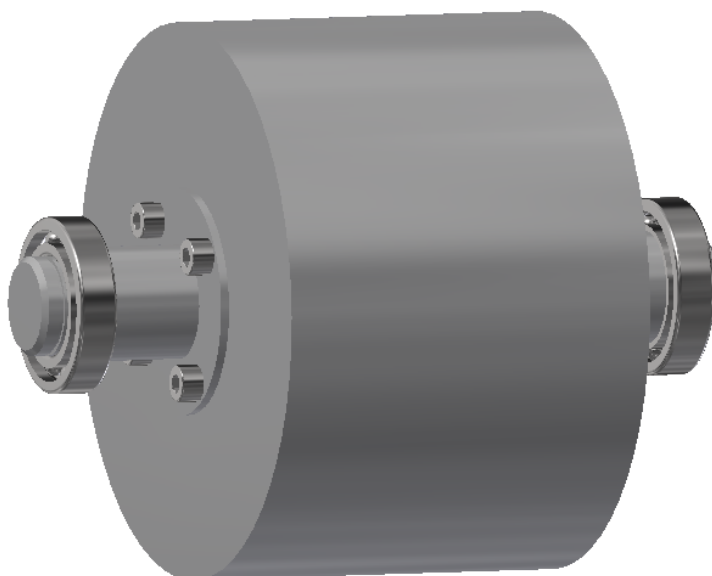


### 3 Postup výpočtu výkonu motoru při měření na setrvačnickové válcové zkušebně

V této kapitole je navržen postupný výpočet, jehož výstupem je výkon spalovacího motoru. Pomocí vstupních parametrů je navržen výpočtový postup výkonu. Vstupní parametry jsou uvedeny níže.

- válec setrvačníku včetně jeho uložení
- interval rychlosti ve kterém probíhá zkouška
- doba zkoušky

Odhadem je navrhnut válec setrvačníku včetně jeho uložení. Při návrhu jsem bral v úvahu, že se bude jednat o měřicí zkušebnu pro motocykly do zdvihové objemu 125  $\text{cm}^3$ . Rozměry válce jsou 195x135 mm. Jako materiál válce je vybrána ocel, která je u těchto zařízení jedna z nejvyužívanějších. Na obrázku níže můžeme vidět sestavu válce setrvačníku. Sestava je vymodelována v programu Autodesk Inventor Professional a dále je z tohoto programu využita také váha jednotlivých částí.



Obrázek 10 Model sestavy válcového setrvačníku [autor]

#### Moment setrvačnosti:

Moment setrvačnosti je fyzikální veličina, ta vyjadřuje velikost setrvačnosti při otáčivém pohybu tělesa. Velikost závisí na rozložení hmoty v tělese vůči ose otáčení. U

momentu setrvačnosti tělesa závisí především na tom, zda osa otáčení prochází (nebo neprochází) těžištěm tohoto tělesa. Je nutné znát tuto veličinu, jelikož ji při měření zadáno do měřicího softwaru. Ze kterého jsou následně vyhodnoceny výsledky.

Moment setrvačnosti plného válce (3.1.):

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (3.1)$$

$J$  ...moment setrvačnosti plného válce [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ]

$m$  ...hmotnost [kg]

$r$  ...poloměr vzhledem k ose souměrnosti [m]

Moment setrvačnosti válce s vnitřním vybráním (3.2.):

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_2^2 + r_1^2) \quad (3.2)$$

$J$  ...moment setrvačnosti válce s vnitřním vybráním [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ]

$m$  ... hmotnost [kg]

$r_1$  ...vnitřní poloměr vzhledem k ose souměrnosti [m]

$r_2$  ...vnější poloměr vzhledem k ose souměrnosti [m]

Pro přesnou hodnotu momentu setrvačnosti, je nutné započítat všechny rotující hmoty. Kromě samotného válce se tedy započítávají komponenty, ve kterých je válec uložen. Mezi tyto části patří čepy, na kterých jsou dále uloženy ložiska.

Celkový moment setrvačnosti (3.3.):

$$J_c = J_{\text{válce}} + 2 \cdot J_{\text{čepu}} + 2 \cdot J_{\text{ložiska}} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (3.3)$$

### Otáčky válcového setrvačníku:

Otáčky za minutu jsou vedlejší jednotkou soustavy SI pro frekvenci. To znamená počet opakujících se jevů za jednotku času. Používají se zejména při vyjádření rychlosti otáčení mechanických zařízení. V našem případě se jedná o otáčky setrvačnickového válce v rozmezí intervalu měření.

Otáčky válcového setrvačníku (3.4.):

$$n_v = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot D} \quad (3.4)$$

$n_v$  ...otáčky setrvačnickového válce [ot/min]

$v$  ...obvodová rychlost válce [m/s]

$D$  ...vnější průměr válce [m]

Při výpočtu se následně počítá s frekvencí otáček za sekundu ta je daná vztahem (3.5.):

$$f = \frac{n_v}{60} \quad (3.5)$$

$f$  ...frekvence otáček za sekundu [ot/s]

$n$  ...otáčky setrvačníku za minutu [ot/min]

### Kinetická energie:

Tento druh energie známý taky pod názvem pohybová energie, patří mezi energie mechanické, kterou má pohybující se těleso. Jedná se tedy o práci, nutnou pro urychlení tělesa na určitou rychlost. V našem případě však těleso vykonává rotační pohyb. Proto závisí jeho energie na úhlové rychlosti a momentu setrvačnosti.

Energie otáčení setrvačníku (3.5.):

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 \quad (3.6)$$

$E$  ...energie otáčení setrvačníku [J]

$J$  ...moment setrvačnosti [kg/m<sup>2</sup>]

$\omega$  ...úhlová rychlost [rad/s]

#### Úhlová rychlost:

Tato veličina rychlosti popisuje otáčivý pohyb tělesa (rotaci). Definuje uraženou úhlovou dráhu (změnu úhlu), za jednotku času. Jednotkou úhlové rychlosti je radián za sekundu. (3.6.):

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (3.7)$$

$\omega$  ...úhlová rychlost [rad/s]

$f$  ...frekvence otáček [ot/s]

#### Mechanická práce:

Obecně je mechanická práce definována jako děj, při kterém síla působící na těleso posouvá tímto tělesem nebo jeho částí. Pokud se však jedná o otáčivý pohyb jako v našem případě, práce závisí na momentu síly, který na těleso působí. Dále také závisí na úhlu, o který se těleso otočí. Mechanická práce je také definována rozdílem kinetických energií.

Rozdíl kinetické energie (3.7.):

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (3.8)$$

$\Delta E$  ...rozdíl kinetické energie [J]

$E_1$  ...kinetická energie na začátku měření [J]

$E_2$  ...kinetická energie na konci měření [J]

Dále lze tedy napsat, že rozdíl kinetické energie je roven mechanické práci.

$$W = \Delta E \text{ [J]} \quad (3.9)$$

### Výkon setrvačníku:

O výkonu mluvíme jako o skalární fyzikální veličině, která vyjadřuje množství vykonané práce za jednotku času. Vztah výkonu je definován vztahem (3.8.).

$$P_s = \frac{W}{t}$$

(3.10)

$P_s$  ...výkon setrvačníku [W]

$W$  ...mechanická práce [J]

$t$ ... doba zkoušky [s]

### Výkon motoru:

Pro výkon motoru platí, že je roven výkonu setrvačníku, a to z důvodu, že je nutné někde tento výkon vytvořit. Tento výkon je však ovlivněn ztráty v průběhu měření, a proto je tento výkon vynásoben ztrátovým součinitelem.

(3.9):

$$P = P_s \cdot \delta_z$$

(3.11)

$P$  ...výkon motoru [W]

$P_s$  ...výkon setrvačníku [W]

$\delta_z$  ...ztrátový součinitel [-]

## 3.1 Výpočet parametrů

V této podkapitole je proveden názorný výpočet výkonu, v tabulce níže jsou uvedeny jednotlivé vstupní parametry, které byly ve výpočtu použity.

### Vstupní hodnoty výpočtu:

Tabulka 1 Vstupní hodnoty

Rozměry válce	D1	D2	m	r1	r2
	0,195	0,05	29	0,0975	0,025
Rozměry čepů	D1	m	r	-	-
	0,05	1,2125	0,025	-	-
Ložisko	D1	D2	r1	r2	m
	0,062	0,035	0,031	0,0175	0,151
Rychlost na začátku		30	km/h	8,3333333	m/s
Rychlost na konci		80	km/h	22,222222	m/s
Doba zkoušky				6	s

### Moment setrvačnosti:

$$J_{\text{válce}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_2^2 + r_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 29 \cdot (0,0975^2 + 0,025^2) = 0,1469 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$J_{\text{čepu}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2125 \cdot 0,025^2 = 0,0003789 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$J_{\text{ložiska}} = m \cdot r^2 = 0,151 \cdot 0,0175^2 = 0,00004624 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$J_c = J_{\text{válce}} + 2 \cdot J_{\text{čepu}} + 2 \cdot J_{\text{ložiska}} = 0,1469 + 2 \cdot 0,0003789 + 2 \cdot 0,00004624 = 0,1469033 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

### Otáčky válcového setrvačnicku:

$$n_{v1} = \frac{v_1 \cdot 60}{\pi \cdot D} = \frac{8,3 \cdot 60}{\pi \cdot 0,195} = 816,2 \text{ [ot/min]}$$

$$n_{v2} = \frac{v_2 \cdot 60}{\pi \cdot D} = \frac{22,2 \cdot 60}{\pi \cdot 0,195} = 2176,4 \text{ [ot/min]}$$

### Frekvence otáček:

$$f_1 = \frac{n_{v1}}{60} = \frac{816,2}{60} = 13,6 \text{ [ot/s]}$$

$$f_2 = \frac{n_{v2}}{60} = \frac{2176,4}{60} = 36,2 \text{ [ot/s]}$$

Úhlová rychlost:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 = 2 \cdot \pi \cdot 13,6 = 85,4 \text{ [rad/s]}$$

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot f_2 = 2 \cdot \pi \cdot 36,2 = 227,9 \text{ [rad/s]}$$

Kinetická energie:

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot J_c \cdot \omega_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,1469033 \cdot 85,4^2 = 536,5 \text{ [J]}$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \cdot J_c \cdot \omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,1469033 \cdot 227,9^2 = 3815,6 \text{ [J]}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 3815,6 - 536,5 = 3279 \text{ [J]}$$

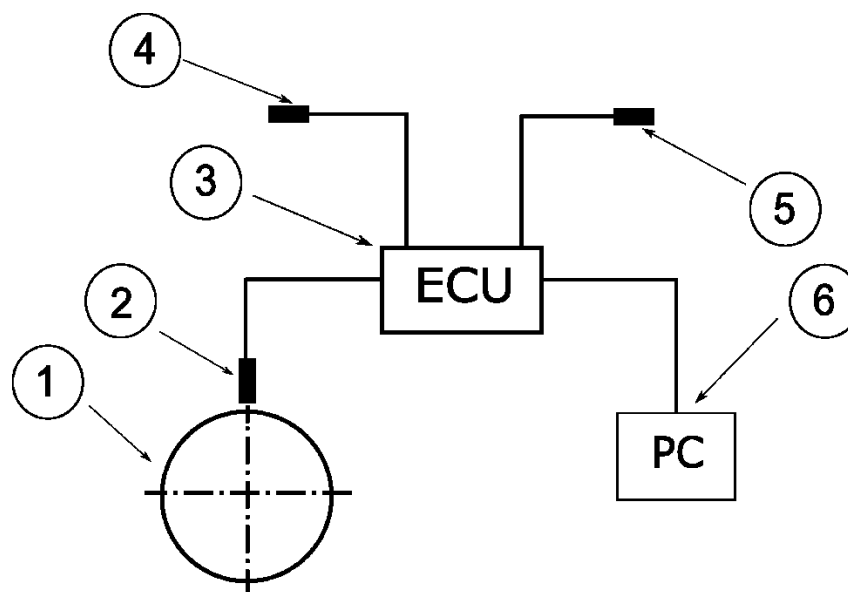
Výkon setrvačníku a motoru:

$$P = \frac{W = \Delta E}{t} = \frac{3279}{5} = 546,5 \text{ [W]}$$

$$P_s = P = 546,5 \text{ [W]}$$

## 4 Popis konstrukce válcové motorové brzdy a měřicího řetězce

V této kapitole se budu věnovat návrhu válcové motorové brzdy a měřicího řetězce. Pro měření parametrů spalovacího motoru. Budou zde popsány jednotlivé části měřicího řetězce a jejich typy. Každá část má svůj návrh zařízení, který je vybrán na základě faktorů. Faktory by měly být správně vyhovující zkušebnám. Na Obr.11. je schéma řetězce válcové zkušebny a jsou zde popsány jeho jednotlivé části.



Obrázek 11 Schéma měřicího řetězce válcové zkušebny [autor]

1... válcový setrvačnick

5... čidlo teploty motoru

2... snímač otáček válce

6... počítač

3... ECU měřicí karta

4... snímač otáček motoru

### 4.1 Válcový setrvačnick

Válcový setrvačnick je sestava jednotlivých částí. Zkompletována do jednoho funkčního prvku. Soustava poté zatěžuje vozidlo. Při navrhování brzdy se berou v úvahu ohledy na vozidla, která budou na zkušebně měřena. Konstrukce válcové brzdy je sestavena z válce a dvou čepů (vystupující ven z válce). Uloženy jsou však v ložiscích.

Důležitým procesem návrhu, je výběr a velikost setrvačnickového válce. Parametry jsou zvoleny tak, aby vyhovovaly podmínkám vozidel. Pro testování motorů se zdvihovým



objemem do  $125 \text{ ccm}^3$ . Stačí použít poměrně malý setrvačnick s průměrem do 30 mm. V tomto případě není za potřebí příliš velký moment setrvačnosti válce. Pro zkušebnu je navržen válec, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce.

Důležitým procesem návrhu je výběr velikosti setrvačnickového válce. Tyto parametry jsou voleny podle podmínek vozidel, která na této zkušebně budou měřena. Pro testování motorů se zdvihovým objemem do  $125 \text{ ccm}^3$  stačí použít poměrně malý setrvačnick o průměru do 30 mm. Podle předchozí kapitoly vypočtených hodnot jsou navrženy parametry válce včetně jeho součástí a druhu spojení. Materiál válce jsem zvolil ocel, která je v této problematice nejvíce využívána. Ocel je velmi rozšířený materiál a také ji využívají výrobci těchto zkušeben.

*Tabulka 2 Hodnoty válce setrvačnicku*

Parametry válce setrvačnicku		
Průměr [mm]	Šířka [mm]	Hmotnost [kg]
195	133	28



*Obrázek 12 Válcový setrvačnick navrhovaný pro měřicí zkušebnu [autor]*

Válec je uložen ve dvou čepech (z každé strany jeden). Na čepech jsou uloženy ložiska, které jsou upevněny v rámu zkušebny. Výrobci zkušeben vyrábějí válec s čepem z jednoho polotovaru. Čehož je dosaženo pomocí technologie obrábění. Pro tento válec je použito spojení pomocí šroubů s metrickým závitem.

Čepy jsou dále uloženy v ložiskách, na které jsem kladl následující požadavky:

- tichý chod a nízké tření
- vhodnost pro vysoké otáčky
- přenos radiálních i axiálních sil
- dostupnost a finanční náklady

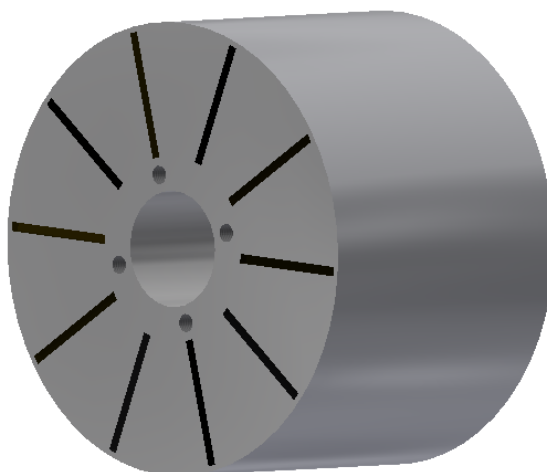
*Tabulka 3 Hodnoty válcové brzdy*

Zvolené části válcové brzdy		
Ložisko	6007 ZZ CX	2 ks
Šroub	M8x15	2 ks

#### 4.1.1 Úprava válce pro detekci polohy

Tato podkapitola se věnuje technické úpravě válce, nutná k detekci polohy. Podle ní se dále snímají otáčky válce. Je několik způsobů, jak tuto technickou úpravu řešit. Mezi nejpoužívanější metody pro snímání, dochází pomocí vyfrézování drážky na straně válce. K zpřesnění měřených hodnot, se docílí pomocí vytvoření několika drážek. U tohoto typu provedení je však nutné, aby každá drážka měla stejné geometrické rozměry a taky správné umístění. Zvolená metoda má nevýhodu s komplikovanější výrobou drážek a jejich následujícím opracováním.

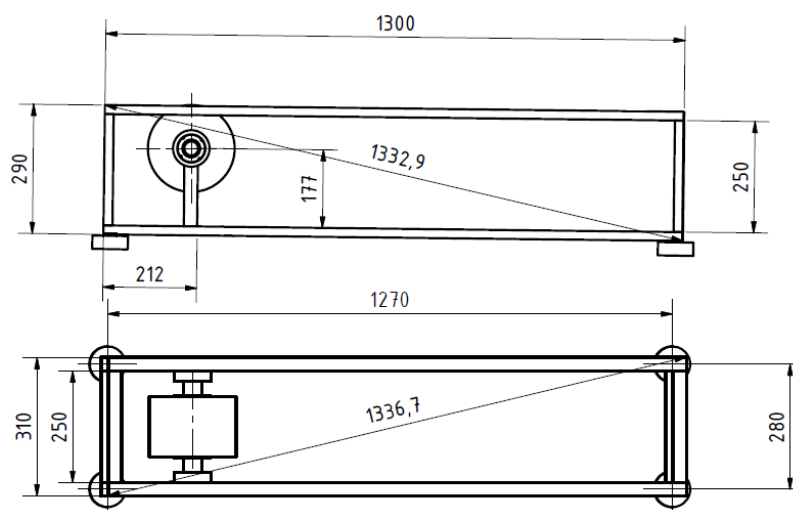
Další možností, jak otáčky snímat je pomocí šroubů, které jsou přimontovány do válce. Toto provedení je velice často využíváno při tvorbě amatérských zkušeben. Výrobci zkušeben také využívají pro detekci polohy válce ozubené kolo. V tomto případě se sestava rozšíří o další komponent a jako u všech je nutné znát jeho moment setrvačnosti.



Obrázek 13 Detail drážkování válce [autor]

#### 4.1.2 Rám zkušebny

Jedná se o nosnou část zkušebny, na kterou jsou dále uloženy ostatní části. Při návržení rámu jsem dbal na to, aby byl dostatečně robustní, jednoduchý na výrobu a dokázal tlumit vibrace vzniklé při měření. Rám je zatěžován během měřicí zkoušky. Hlavní veličiny během měření, které ovlivňují chod jsou: tíha motocyklu a zrychlení. Tento rám je vyroben z oceli, kvůli svým dobrým vlastnostem, a svařen dohromady z několika částí. Motocykl je během zkoušky zabezpečen proti nežádoucímu pohybu lanovými kurty. Při výrobě válcových zkušeben je na rámu zabudováno také zajištění předního kola.



Obrázek 14 Rám zkušebny [autor]

## 4.2 Snímač otáček válce

Snímač je technické zařízení sloužící obecně jako zdroj informací pro řídicí systém. Jedná se o součástku, která měří fyzikální, nebo technickou veličinu. Poté ji převede na signál. Signál je dále zpracováván v měřících a řídicích zařízeních.

Naše zařízení slouží k měření otáček setrvačníku. Při tomto měření vyhodnocujeme, kolikrát se válec při zatížení otočí za daný čas. Snímače používané v této problematice jsou:

- Hallův snímač
- Indukční snímač
- Optický snímač
- Ultrazvukový snímač

### 4.2.1 Hallův snímač

Princip tohoto snímače je založen na Hallově jevu. Tento jev je vznik napětí v polovodičové destičce, protékané proudem za současného působení magnetického pole. Snímač potřebuje ke své činnosti napájecí napětí.



Obrázek 15 Snímač H02 pracující na Hallově jevu [16]

Výhodou tohoto snímače je, že dokáže sledovat také nízké otáčky blížíící se nule. Dokonce lze použít tyto zařízení i pro sledování statické polohy dílu. Tyto díly se nachází v jedné poloze a určitým popudem se posune do druhé polohy.

#### 4.2.2 Indukční snímač

Skládají se z tyčového magnetu s magneticky měkkým pólovým nástavcem. Na nástavci je umístěna indukční cívka se dvěma vývody. Cívka je hlavním aktivním prvkem senzoru. Také je doplněna kondenzátorem na paralelní obvod tvořící oscilátor. Oscilátor generovaný vysokofrekvenční střídavý proud, který prochází cívkou a vytváří magnetické pole. Magnetické pole vystupuje z otevřené strany. Pole nazýváme aktivní plochou senzoru. Pokud se v blízkosti aktivní plochy nachází předmět z vodivého materiálu, dojde k deformaci magnetického pole. Změna magnetického pole působí na cívku vlivem vzájemné indukčnosti a ta změní svojí impedanci.

Indukční snímače jsou jednou z možností, jak v prašných a dále obtížných podmínkách bezkontaktně detekovat přiblížení elektricky vodivých předmětů na vzdálenosti několika milimetrů. Mezi výhody těchto zařízení patří vysoká životnost, bezdotykové snímání, odolnost vůči zkratování a další. Mezi jejich negativní vlastnosti patří schopnost měření pouze elektricky vodivých materiálů, malý rozsah snímání a různá citlivost pro kovové materiály.

#### 4.2.3 Optický snímač

Jak z názvů vyplývá princip těchto snímačů je spjatý se světlem, respektive pracuje na principu měření intenzity paprsku světla. Světelný paprsek dopadá na přijímací část senzoru. Měří se množství odraženého světla dopadajícího na optický detektor umístěný hned vedle vysílače. Tyto zařízení konkrétně měří světelný výkon a porovnává se s požadovanou hodnotou.

Mezi jejich největší výhodu patří: větší spínací vzdálenost nebo necitlivost vůči elektromagnetickému rušení. Tyto snímače mají nízkou odolnost vůči vlhkosti, teplotě a silnému znečištění. Nejsou dále doporučovány do prostředí s vysokou prašností.

#### 4.2.4 Ultrazvukový snímač

Běžný ultrazvukový snímač má podobnou blokovou strukturu jako senzory indukčního typu. Základním materiálem snímače tohoto typu je piezokeramika. Materiál nahradil piezoelektrické krystaly. Hlavním důvodem byla vysoká cena. V provedení snímačů se jedná o keramický kotouček, jenž při přiložení napětí změní své geometrické

rozměry. Tedy mění elektrickou energii na mechanickou. Při přiložení napětí změní kotouček svůj průměr a vzniknou příčné síly. Dojde k prohnutí celého systému s velkou amplitudou. K buzení měniče v snímači se používá oscilátor naladěný na rezonanční frekvenci měniče.

Mezi vlastnosti těchto snímačů patří: snímání libovolných materiálů, detekce průhledných předmětů. Možnost využití v prašném a vlhkém prostředí. Mezi nedostatky těchto snímačů patří omezení rychlosti proudění vzduchu a delší doba odezvy. Při krátké detekční vzdálenosti se však ultrazvukové vlny nerozevrou do širokého prostoru.

#### 4.2.5 Snímač otáček MX5017

Pro tento řetězec jsem zvolil snímač otáček, který pracuje na principu Hallova jevu. Mezi jeho přednosti patří přesná detekce, široký rozsah provozní teploty a rychlá instalace pomocí přírubového adaptéru. Snímač MX5017 vyrábí firma ifm electronic. Tato společnost vyrábí senzory všech typů a byla založena v roce 1969. Zastoupení této společnosti je také v České republice a z těchto důvodů by neměl být problém s distribucí této součásti.

*Tabulka 4 Parametry snímače*

Hmotnost	83 [g]	Spínací frekvence	15 [kHz]
Rozměry	$\phi 15$ , L=50 [mm]	Provozní napětí	7÷30 [V]
Okolní teplota	-32÷140 [°C]	Proudový odběr	≤30 [mA]
Elektrické připojení	Kabel: 2 [m], PUR	Spínací vzdálenost	1,7 [mm]



Obrázek 16 Snímač MX5017 [17]

### 4.3 ECU měřicí karta

Měřicí karty neboli karty pro sběr dat, slouží pro přímé měření, popř. generování signálu počítačem. V technické praxi se používají více než 15 let. Tyto zařízení většinou obsahují jeden či několik z těchto typů funkcí:

- analogové vstupy
- analogové výstupy
- digitální linky
- čítače nebo časovače

Karty s více než jedním s uvedených typů funkcí se označují jako multifunkční. Měřicí karty rozdělujeme podle typu použité sběrnice. I karta s nejdokonalejším hardwarem je nepotřebná, není-li pro kartu k dispozici ovládací program (ovladač, driver). Kromě hlavního rozhraní pro ovládání karty, často také obsahují nástroje a nastavení pro otestování karty, popřípadě její kalibraci. Měřicí karty se staly součástí automatických měřicích systémů. Pokud máme nízké nároky, mohou tyto zařízení posloužit také jako náhrada měřicích systémů (digitální multimetr, osciloskop, měřič vibrací atd.). Funkční možnosti měřicích karet se čím dál více rozšiřují. Cena klesá dolů a karty je třeba pečlivě vybírat.

#### 4.3.1 Měřicí karta LabJack U12

LabJack U12 je kompaktní systém umístěný v plastové krabičce o rozměrech 105x155 mm a výšce 25 mm. Je osazen dvěma konektory. Jeden z konektorů je USB typu B pro komunikaci s PC. Druhý konektor je vývodový pro externí připojení. Čelní panel obsahuje zelenou LED pro signalizaci základních stavů a napájení. Systém měřicí karty je napájen z PC pomocí USB portu. Z těchto důvodů nepotřebuje připojení vnějšího zdroje, naopak je schopen napájet vázané periférie. Tento modul obsahuje 8 analogových vstupů, 2 analogové výstupy, 20 digitálních vstupů/výstupů a 32 bitový čítač.

Analogové vstupy:

Labjack U12 má 8 analogových vstupů, každý z nich má 12bitové rozlišení. Základní rozsah u jednoduchého vstupu je  $\pm 10$  V. Vnitřní odpor každého vstupu je okolo 100 k $\Omega$ . Ke vstupům se váže i hodnota úrovně kalibračního napětí. Tato hodnota je 2,5 V dodržená v typické přesnosti 0,05 %.

Analogové výstupy:

Tato měřicí karta má dva analogové výstupy. Oba výstupy jsou nastavitelné v rozmezí od 0 V do úrovně napájecího napětí 5 V, v 10bitovém rozlišení. Maximální proud pro každý výstup je 30 mA.

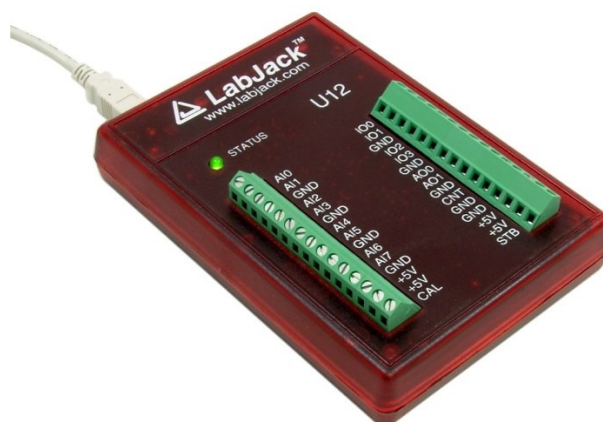
Technické specifikace:

- analogové vstupy: 8x proti zemi, 4x diferenční (rozlišení 12bit)
- $\pm 10$  V rozsah analogových vstupů
- programovatelný zisk 1,2,4,5,8,10,16 nebo 20
- až 8 ksamplů  $s^{-1}$  (mód Burst), 1,2 ksamplů  $s^{-1}$  (mód Stream)
- 2 analogové výstupy
- 20 digitálních I/O
- 32bitový čítač
- integrovaný watchdog
- USB 1.0 Low Speed (1.1 Mbit)
- Možnost připojení více modulů LabJack U12 na jeden USB port
- Plné softwarové ovládání (bez jumperů nebo přepínačů)
- napájení modulů prostřednictvím USB portu
- na přiloženém CD přiložena licencovaná kopie DAQ Factory Express Software
- přiložené CD obsahuje ovladače a vzorové programy
- podpora OS Windows 98SE a novější (ME,2000, XP nebo Vista)



- rozsah pracovní teploty  $-40 \div 85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- rozměry karty 105x155x25 mm

Přeloženo z oficiálních webových stránek společnosti LabJack Corporation [12]



Obrázek 17 Měřicí karta LabJack U12 [20]

Tento modul je velice vhodný pro měření laboratorních testů. Dále také pro měření na amatérských konstrukcích. Velice výhodné je také pro výukové účely ve školách nebo školících střediscích.

## 4.4 Indukční kleště

Pro snímání otáček motoru jsou vybrány indukční kleště. Výhodou těchto kleští je, že jsou schopny zaznamenávat přesný průběh elektrického proudu, který protéká vysokonapěťovým kabelem pro zapalování svíčky. Při nasunutí kleští na kabel je velice důležité, aby mezi sevřením nebyly žádné nečistoty. Na těchto zařízeních se vždy indikuje napětí v momentě, kdy protéká vysokonapěťovým kabelem elektrický proud. Aby přeskočila jiskra na zapalovací svíčke, je nutně přítomný elektrický proud.

### 4.4.1 Vysokonapěťové kleště HVC95

Vybrané zařízení slouží pro měření zapalování zážehových spalovacích motorů. Pomocí kleští lze zobrazit průběh napětí na sekundární části indukční cívky (tzn. kapacitní kleště) nebo pro měření otáček. Výhodou kleští je velký otvor pro obejmutí až 15 mm

silného kabelu. Připojení kleští pro měření otáček je možno provést do kteréhokoli místa. Je nutné kleště natočit tak, aby snímaný impuls byl co největší. Kleště lze připojit k měřicí kartě například pomocí BNC konektoru (verze A).

Technické údaje:

- induktivní i kapacitní snímání
- ochrana proti průrazu VN kabelu
- pracovní teplota 0÷80 °C
- přívod koaxiální kabel 1,5 m
- rozměry 160x75x40 mm



Obrázek 18 Vysokonapěťové kleště HVC95 [19]

## 4.5 Teplotní senzor

Pro zjištění teploty motoru se používají polovodičové snímače. Nazýváme je termistory. Termistor je typ součástky, jehož elektrický odpor je závislý na teplotě. Na rozdíl od kovových senzorů je princip polovodičových senzorů odlišný. Proto mají tyto senzory jiné vlastnosti. Je nutné znát VA charakteristiku pro měření teploty. Tato charakteristika je v závislosti mezi elektrickým napětím a proudem. Rozlišujeme dva typy termistorů a to PTC (pozistor) a NTC (negastor).

### 4.5.1 Termistory NTC

Již podle názvu (Negative temperature coefficient) mají NTC termistory záporný teplotní součinitel odporu. S rostoucí teplotou se zvyšuje koncentrace nosičů náboje

a elektrický odpor klesá. Polokrystalické NTC termistory se vyrábí práškovou technologií spékáním oxidů.

Jak bylo zmíněno NTC termistory se vyrábějí práškovou metalurgií, a to buď tenkovrstvou nebo tlustovrstvou. V prvním případě se senzory vyrábějí ze směsí oxidů (např.  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}+\text{CoO}$  apod.). Vylisované se pak zpevňují slinováním za vysokých teplot. Tlustovrstvé senzory vznikají nanášením speciálních past a následným vypálením.

Základní vlastnosti termistorů NTC:

- teplotní součinitel odporu je záporný a zhruba o řád vyšší než u kovů
- běžný rozsah teplot je  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- široké rozmezí hodnot odporu od  $0,1\Omega$  až několik  $\text{M}\Omega$
- velká citlivost, malá hmotnost i rozměry umožňují měřit i velmi rychlé teplotní změny
- zásadní nevýhodou je značná nelinearita

Tyto termistory se dobře uplatňují v méně náročných aplikacích, jako je například bodové měření malých nebo rychlých změn teploty. Jsou velice snadno dostupné a obvykle mají nízkou pořizovací cenu. K dostání jsou však i termistory s vysokou přesností, širokým rozsahem teplot, ale vyšší pořizovací cenou.

#### 4.5.2 Termistory PTC

Termistory PTC (Positive temperature coefficient) mají na rozdíl od NTC termistorů kladný teplotní koeficient. Tyto termistory vykazují nelineární závislost odporu na teplotě. Jejich odpor s rostoucí teplotou nejprve mírně klesá a po překročení Curieovy teploty strmě roste.

PTC termistory se vyrábí z polokrystalické keramiky. Například z titaničitanu barnatého ( $\text{BaTiO}_3$ ), nanášením přesně řízených práškových směsí. Obvykle do tvaru malého disku. Referenční teplota PTC termistorů (teplota přechodu) závisí na chemickém složení a zpravidla se používá v rozsahu  $60$  až  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Použití těchto termistorů je vhodné pro měření teploty ve velmi úzkém teplotním pásmu.

Základní vlastnosti termistorů PTC:

- teplotní součinitel je téměř konstantní v celém svém rozsahu teplot
- dlouhodobá stabilita
- linearita je lepší než u NTC termistorů
- teplotní rozsah je obvykle -55 až 150 °C

#### 4.5.3 Teplotní senzor EI1034

Teplotní senzor spolu s měřicí kartou vyrábí stejná firma. Je velice snadno použitelný a přesný. Dále je vybaven vodotěsnou nerezovou sondou. Přesnost měření teploty je dle příbalového návodu  $\pm 0,22$  °C. Teplotní rozsah tohoto zařízení je -17 až 110 °C. Disponuje lineárním výstupem s napětím 10 mV. Senzor EI1034 můžeme vidět na obrázku níže.



Obrázek 19 Teplotní senzor EI1034 [18]

#### 4.6 Počítač

Každá USB měřicí karta potřebuje pro svou činnost měřící software. Při zakoupení měřicí karty LabJack U12 je i součástí software, který je nahrán na CD včetně instalačních ovladačů. Považuji to za přínos pro práci s měřicí kartou. Tato konfigurace je schopna pracovat s PC nebo notebookem. Aplikovaný software musí být Windows 98 (min Win98SE=4.10.2222), ME (min WinME=4.90.3000), 2000 (min Win2000=5.0.2195) nebo XP (min WinXP=5.1.xxxx).

Software vyhodnocuje jednotlivé parametry. Pro správnou funkci je zapotřebí provést po zapojení kalibraci s měřicí kartou. Z instalačního CD se nainstalují ovladače a aplikační příklady. Poté je provedena kalibrace s měřicí kartou, jednotlivými kroky kalibrace nás provádí instalační CD.

Jednotlivé aplikační příklady softwaru:

- LGcounter
- LGfg
- LGlogger
- LJscope
- LGstream

LGcounter:

První aplikační příklad je jednoduchý čítač nebo měřič frekvence. Informaci s aplikačním příkladem najdeme v oknech Error a Local ID. V nastavení si můžeme vybrat typ měření mezi čítačem pulzů za daný interval nebo měření frekvence. Frekvence se vypočítá z počtu pulzů z daného intervalu. Data lze ukládat do vlastního souboru pro další analýzu a zpracování.

LGfg:

Dalším aplikačním softwarem je jednoduchý funkční generátor. Informace a komunikaci nalezneme opět v oknech Error a Local ID. Nastavitelnými parametry je frekvence, minimální a maximální napětí a typ průběhu (sinusovka, obdélník, trojúhelník atd.). Výhodou tohoto programu je grafické prostředí.

LGlogger:

Tento aplikační příklad je nejrozsáhlejší. Mimo známé informace o komunikační schopnosti máme také informace o PC systému a programové verzi. Lze zde pomocí tlačítka Configure spustit ukládání dat, zvolit adresu k uloženým datům nebo data předat na internet. V levé horní části panelu je možno určovat analogové vstupy. Lze stanovit typ vstupu a také přiřadit vlastní jméno vstupu. Výsledné napětí vstupu je zde možno dále korigovat. Levá dolní část aplikace je věnována logickým vstupním/výstupním hodnotám. S použitím tohoto příkladu lze realizovat své vlastní logické sítě.

LJscope:

Tento software je dále vybaven osciloskopem. Zobrazuje závislost napětí v čase, anebo také napětí v závislosti na frekvenci. Skenovací rychlost je až 4000 Hz což je pro toto využití zcela dostatečné. Data je opět možné zaznamenávat.

LGstream:

Tento aplikační příklad je streamovacím módem. Na obrazovce se zobrazují průběhy až čtyřech kanálů. Tyto kanály jsou nastavitelné podle analogových kanálů a mohou být ošetřeny matematickým nebo logickým řetězcem. Opět je možno data ukládat na PC.

#### 4.7 Finanční náklady měřicího řetězce

Tato kapitola popisuje finanční náklady jednotlivých zařízení. Dále je zde porovnání ceny se zkušebnou, kterou lze zakoupit od společnosti Moto COM Test. Tato společnost se zabývá výrobou zkušeben jak pro automobilová, tak motocyklová vozidla. Ceny jednotlivých částí jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 5 Ceny jednotlivých částí

Součást	Cena bez DPH [Kč]	Cena včetně DPH [Kč]	Počet kusů
Válec	3928	4752,88	1
Čep uložení	620,15	750,38	2
Ložisko	33,27	40,26	2
Šroub	10,88	13,16	8
Snímač otáček válce	1271,59	1609,62	1
USB měřicí karta	4154	5026	1
Indukční kleště	1223,14	1480	1
Teplotní senzor	1402	1696	1
Rám zkušebny	11928	14432,88	1
Celková cena	25300,61	30683,94	

Jednotlivé ceny jsou uvedeny pro jeden kus a jedná se o ceny orientační vybrané průzkumem trhu. Vybrané ceny jsou od společností s nejlepším hodnocením a spokojenosti zákazníků. Cena rámu zkušebny je pouze odhadová. Celková cena je uvedena pouze za komponenty, je tedy nutné dbát ohledy na práci. Dále není započítán počítač, který lze použít dle požadavků softwaru.

Porovnání je prováděno se zkušebnou typu 250 HP BR. Lze zakoupit dvě různé varianty tohoto typu. V první variantě je nutné mít vlastní rám zkušebny. Tato varianta obsahuje:

- Software Moto COM Test
- Mikropočítač BRD 1000 včetně zdroje

Cena tohoto provedení je 38 400,- Kč bez DPH.

Dále lze zakoupit kompletní měřicí zkušebnu, tato zkušebna je však navržena pro motocykly do maximálního výkonu 180 kW. Společnosti zabývající se touto problematikou nevyrábějí zkušebny pro motocykly s nižšími parametry, a to z ekonomických důvodů. Toto provedení obsahuje tyto položky:

- Válcová zkušebna 250 HP BR základní provedení
- Mikropočítač BRD 1000 včetně zdroje
- Software Moto COM Test

Verze tohoto provedení stojí 124 000,- bez DPH. Zkušebnu tohoto typu můžeme vidět na Obr.9.

## 5 Kalibrace výpočtového modelu válcové zkušebny reálným měřením

Cílem této kapitoly je návrh součinitele ztrát, jenž ovlivňuje vyhodnocené výsledky. Poté co je tento součinitel určen, se dále používá při každém měření pro získání správných výsledků měřeného vozidla. Pokud bychom zanedbali tento důležitý faktor, je velice pravděpodobné, že každé provedené měření by bylo chybné.

### 5.1 Postup při návrhu ztrátového součinitele

Pro zjištění této veličiny se postupuje pomocí známého parametru výkonu silničního vozidla. Toto vozidlo již bylo měřeno na jiném měřicím zařízení s určeným součinitelem ztrát. Pokud již máme vozidlo se známou hodnotou výkonu, je provedeno měření na zkušebně, na které chceme tento součinitel stanovit.

Po provedení měření a následném vyhodnocení výsledku zkoušky, se porovnají naměřené hodnoty. Následně se posuzuje rozdíl naměřených hodnot a provádí se kalibrace součinitele. Tato kalibrace je obecně definována jako chyba, se kterou se následně měří. Poté co je navržena hodnota tohoto součinitele, je zahrnut do výpočtu. V této fázi by měly naměřené hodnoty výkonu mít stejnou velikost, jako hodnoty z měření na jiné z kalibrované zkušebně.

### 5.2 Ztráty při měření

Zde jsou popsány jednotlivé ztráty, v nichž dochází k maření výkonu při měření. Součtem všech těchto veličin stanovíme celkový součinitel ztrát. V kapitole níže jsou popsány jednotlivé ztráty při měření.

- valivý odpor pneumatiky
- tření ložisek
- ztráty v převodovém ústrojí



### 5.2.1 Valivý odpor

Tento odpor vzniká vždy, když těleso kulatého průřezu (válec, koule) se valí po podložce. Příčinou tohoto jevu je, že neexistuje absolutně tuhé těleso, jenž by se nedeformovalo účinkem jakkoliv velké síly.

V místě kontaktu tělesa s rovinnou podložkou dochází vlivem deformace k vytvoření stykové plošky. Na stykové plošce vzniká Hertzův tlak. Tento tlak vzniká v místě vzájemného působení dvou těles s definovaným zakřivením povrchu. Důsledkem působení vodorovné síly na těleso, začne se tento tlak navalovat na přední část této kontaktní plošky a část zadní se začne odlehčovat. Z důvodu hystereze je odlehčování pomalejší než stlačování. Toto má za následek, že výslednice průběhu kontaktního tlaku se posune o takzvané rameno valivého odporu.

Velikost tohoto ramene je dána vlastnostmi materiálu:

- vnitřní tření
- tuhost
- struktura povrchu (drsnost)

*Tabulka 6 Hodnoty koeficientů valivého odporu*

Orientační hodnoty koeficientů valivého odporu	
pneumatika-beton	0,015 ÷ 0,025
pneumatika-dlažba	0,020 ÷ 0,030
pneumatika-štěrk	0,030 ÷ 0,040
pneumatika-polní cesta (suchá)	0,040 ÷ 0,050
pneumatika-hluboký písek	0,15 ÷ 0,30
pneumatika-asfalt	0,010 ÷ 0,020

V našem případě se jedná o styk pneumatiky s ocelí, z hlediska pevnosti se struktura povrchu oceli podobá asfaltu či betonu.

Valivý odpor dále ovlivňují tyto faktory:

- hmotnost a aerodynamika vozidla
- tlak nahuštění pneumatik
- šířka a výška profilu pneumatiky

Před každým měřením je nutné změřit tlak pneumatiky, jelikož se jedná o faktor, který ovlivňuje měření. U každého homologovaného vozidla jsou hodnoty huštění pneumatik

známé. Z pravidla se jedná o štítek na karoserii, na kterém jsou hodnoty tlaku v poměru z hmotností vozidla.

### 5.2.2 Tření ložisek

Ztráty ložisek jsou ovlivněny řadou faktorů. Mezi ně patří především konstrukce zařízení, materiál, montáží ložiska a také výrobním provedením. Dále zde patří vnější faktory. Rozdělují se na druh použitého maziva, způsob mazání a zatížení. V literatuře lze nalézt několik koeficientů, jenž stanovují tento součinitel ztrát.

Zde jsou uvedeny obecné vlivy, které způsobují ztráty v ložiskách:

- valivé tření mezi oběžnými dráhami kroužků
- kluzné tření
- hydrodynamický odpor maziva (setrvačné síly maziva a jeho viskozita)
- odpor aerodynamický okolního prostředí

### 5.2.3 Ztráty v převodovém ústrojí

Převodové ústrojí slouží k přenosu výkonu motoru na hnací kola vozidla. Tento přenos se neobejde beze ztrát. Tuto problematiku ovlivňuje celá řada aspektů, jenž jsou uvedeny níže.

- ztráty v ozubení
- ztráty v ložiskách
- ztráty v ucpávkách
- ztráty broděním ozubeného kola v oleji a ventilací

#### Ztráty v ozubení:

Důsledkem vzniku tohoto typu ztrát je součinitel tření, jenž vzniká mezi boky zubů. Tření vzniká kombinací valení a skluzu. Během záběru zubu se mění rychlost skluzu. Výsledkem tohoto pohybu je zmíněný součinitel tření, který je proměnlivý. Na těchto základech se součinitel tření v obvyklých příkladech zaměřuje střední hodnotou. Rozsah této hodnoty je uváděn od 0,01 až 0,1 dle použité literatury.

Ztráty v ložiskách byly popsány v kapitole 5.2.2.

### Ztráty v ucpávkách:

Pro snížení ztrát a zvýšení životnosti těsnících kroužků je nutné, aby mezi stykové plochy kroužků a hřídelí vzniknul olejový mazací film. Toto ovlivňují následující faktory:

- teplota oleje, obsah nečistot v něm a jeho vlastnosti
- opracování hřídele a její obvodová rychlost
- stabilita v průběhu technického života těsnícího kroužku

### Ztráty broděním a ventilací:

Jako u všech ztrát, závisí na faktorech, které ovlivňují tento součinitel. Mezi faktory patří hloubka brodění, viskozita oleje, otáčky nebo také tvar skříně. Při orientační teplotě 20 °C jsou ztráty až 4krát větší než při provozní teplotě.

### Ztrátový součinitel:

Podle popsanych koeficientů je pro teoretický návrh zvolen celkový součinitel ztrát. Při reálném měření je nutné tento koeficient ověřit. Celkový koeficient je 1,1 a při měření je možné tento koeficient měnit v rozmezí.

## 6 Shrnutí dosažených výsledků práce

Na základě navržených měřicích součástí vznikla sestava řetězce, který je možné uplatnit při realizaci amatérské válcové zkušebny. Zmíněný řetězec lze využít při měření motocyklů, se snímkovou frekvencí 50 Hz. Zařízení je vhodné pro celou řadu motocyklů. Výhodou je rychlost zkoušky, a tudíž možnost provedení série měření, pro zpřesnění parametrů měřeného motocyklu. Zkušebna takovýchto rozměrů má také výhodu manipulace. Pro realizaci bude však nutné spousta pracovních hodin na úpravě jednotlivých komponentů a synchronizace do jednoho funkčního celku.

V této práci byly vybrány měřicí komponenty tak, aby splnily funkci schopnou měřit požadované hodnoty. Bylo dosaženo nižších finančních nákladů než při zakoupení zkušebny od výrobce.

Tématem práce je také postup výpočtu výkonu motoru. Byly popsány vstupní hodnoty, ze kterých výpočet vychází a jednotlivé kroky nutné k získání výsledného výkonu motoru. Při reálném měření je však podstatné dbát ohledy na nepřesnosti, které mohou postup ovlivnit.

Poslední kapitola je věnována ztrátovému součiniteli, jenž maří část vytvořeného výkonu. Na těchto základech bylo podnětem určit hodnotu součinitele pro získání přesných hodnot, a tudíž správnou funkci zkušebny.

## 7 Závěr

V závěru práce bych rád zmínil, že byly splněny požadované cíle práce. Má bakalářská práce byla pro mne velice zajímavá a také při jejím vypracování jsem se seznámil s novými měřicími postupy výkonu. Dalším přínosem byla nauka v programu Autodesk Inventor. Mezi zkušenosti, které jsem získal při tvorbě této práce, patří také výběr jednotlivých komponentů měřicího řetězce, a to na základě technických a finančních nároků.

Po definování rozměrů válce a jeho součástí nezbytných k jeho uložení, byla provedena kalkulace momentu setrvačnosti, bez kterého by nebylo možno provést výpočet. Na daných základech byl popsán postup výpočtu, jenž je možno využít při reálném měření. Dříve než bude použit, je za potřebí definovat správný součinitel ztrát, ovlivňující měření na zkušebně. Zvolený součinitel ztrát je v této práci pouze teoretický, a to z důvodu, že neproběhlo žádné reálné měření a jedná se pouze o jeho návrh.

Následně byl popsán měřicí řetězec, jeho hlavní účel a komponenty, které obsahuje. Byly vysvětleny jednotlivé komponenty, jejich rozdělení a popsány vlastnosti, jenž jim náleží. Samotným stanovením měřicí soustavy však práce nekončí, nýbrž bylo provedeno srovnání finančních nákladů se zkušebnou, kterou lze zakoupit od firmy zabývající se touto problematikou.

## Seznam použité literatury

- [1] MATĚJKA, R.: Vozidla silniční dopravy I. VŠDS Žilina, Bratislava: Alfa Bratislava.
- [2] MATĚJKA, R.: Vozidla silniční dopravy II. VŠDS Žilina, Bratislava: Alfa Bratislava, 1981.
- [3] VLK, F.: Dynamika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 2000.
- [4] MACEK, Jan. Spalovací motory. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2012, 262 s. ISBN 978-80-01-05015-6.
- [5] VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [6] DTec, Tech Articles – DY Inertia Dyno Building, Flowbench Plans, Injectos Data / Flow Conversions, Ignition Coil Dwell, Voil Energy, Multi Sparking, Ignition Upgrade, Lambda Testing, Fuel Mixtures, TDC Finder, Back Probes DTec – Inertia/Brake Dyno (Dynamometr) Kart, RC, Bike & Car. DIY, Tech Articles, Temperature sensing and Acquisition (online). Dostupné z: <http://dtec.net.au/Tech%20Articles.htm>
- [7] Na vířivé proudy a jeho regulace – Časopis Elektro – Odborné časopisy. Odborné časopisy (online) Copyright © 2014 (crit 20.05.2018). Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/dynamometr-na-virive-proudy-a-jeho-regulace--14869>
- [8] LabJack I Measurement and Automation LabJack | Measurement & Automation (online). Copyright © 2001 (crit. 20.05.2018). Dostupné z: <https://labjack.com/>
- [9] Fotogalerie: Offroad sport - Rally - Dakar, Baja, cross country, automobilový závodní tým (online). Dostupné z: <http://www.offroadsport.cz/galerie-motorova-brzda-a-104.html>
- [10] (online) Copyright © (crit. 20.05.2018) Dostupné z: <https://i.ytimg.com/vi/mYC58-Cdths/maxresdefault.jpg>
- [11] Profi-chiptuning zvýšení výkonu motoru} (online). Copyright © (crit. 20.05.2018). Dostupné z: [http://www.profi-chiptuning.cz/data/images/brzda\\_4x4.jpg](http://www.profi-chiptuning.cz/data/images/brzda_4x4.jpg)
- [12] T&S Technologies Group (online). Copyright © (crit. 20.05.2018) Dostupné z: <http://en.ts-tech.info/uploadfile/2016/0603/20160603013357678.png>
- [13] Explain working of hydraulic brake dynamometer with sketch. I topicwise paper solutions for MSBTE. Topicwise paper solutions for MSBTE I TPS helps the students to

have focused and target oriented study. Dostupné z: <http://mechdiploma.com/explain-working-hydraulic-brake-dynamometer-sketch>

[14] 2013 BMW M5 F10 with Twin – Turbo V8 Dyno – tested: Does it Deliver What it Promises? | Carscoops. Carscoops | Breaking car news, scoops and features. (online) Dostupné z: <https://www.carscoops.com/2011/12/2013-bmw-m5-f10-with-twin-turbo-v8-dyno/>

[15] Motocometest, Motocomtest (online) Dostupné z: <http://www.motocom.cz/produkty.htm>

[16] Hallův snímač H02 | IMFsoft, s.r.o. (online). Copyright © 2006 (crit. 20.05.2018) ifm electronic gmbh 2018 (crit. 20.05.2018). Dostupné z: <https://imfsoft.com/kategorie-snimace/halluv-snimac-h02>

[17] MX5017 – rotační sensor – ifm electronic ifm - automation made in Germany (online). Copyright © ifm electronic gmbh 2018 (crit. 20.05.2018) Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/MX5017>

[18] EI1034 Temperature Probe | LabJack LabJack | Measurement and Automation (online). Copyright © 2001 (crit. 20.05.2018) Dostupné z: <https://labjack.com/accessories/ei1034-temperature-probe>

[19] Vysokonapěťové kleště HBC95 | Příslušenství k oscilátorům | mt-pro.cz Autodiagnostika | Automobilové oscillatory | MTPro(online). Copyright © 2018 mt (crit.20.05.2018) Dostupné z: <https://mt-pro.cz/vysokonapetove-kleste-hvc95.html>

[20] U12 Series | LabJack | LabJack | Measurement and Automation (online). Copyright © 2001 (crit. 20.05.2018) Dostupné z: <https://labjack.com/products/u12>

## Seznam tabulek a obrázků

Obrázek 1 Graf závislosti mezi výkonem, točivým momentem a otáčkami [1]	14
Obrázek 2 Spalovací motor během zkoušky na motorové brzdě [9]	16
Obrázek 3 Automobil při měření na válcové zkušebně [10]	17
Obrázek 4 Zkušebna pro měření vozidel s oběma hnanými nápravami [11]	18
Obrázek 5 Zkušebna bez válcového uspořádání typu rototest [12]	19
Obrázek 6 Schéma hydraulického dynamometru [13]	20
Obrázek 7 Elektromagnetický vířivý dynamometr s radiální vzduchovou mezerou [7]	20
Obrázek 8 Měření výfukových zplodin [14]	23
Obrázek 9 Motocykl připravený k měření [15]	24
Obrázek 10 Model sestavy válcového setrvačníku [autor]	25
Obrázek 11 Schéma měřicího řetězce válcové zkušebny [autor]	32
Obrázek 12 Válcový setrvačnick navrhovaný pro měřicí zkušebnu [autor]	33
Obrázek 13 Detail drážkování válce [autor]	35
Obrázek 14 Rám zkušebny [autor]	35
Obrázek 15 Snímač H02 pracující na Hallově jevu [16]	36
Obrázek 16 Snímač MX5017 [17]	39
Obrázek 17 Měřicí karta LabJack U12 [20]	41
Obrázek 18 Vysokonapěťové kleště HVC95 [19]	42
Obrázek 19 Teplotní senzor EI1034 [18]	44
Tabulka 1 Vstupní hodnoty	30
Tabulka 2 Hodnoty válce setrvačníku	33
Tabulka 3 Hodnoty válcové brzdy	34
Tabulka 4 Parametry snímače	38
Tabulka 5 Ceny jednotlivých částí	46
Tabulka 6 Hodnoty koeficientů valivého odporu	49



## Seznam příloh

**Příloha A:** Postup výpočtu výkonu MS Office Excel

**Příloha B:** Sestava válcového setrvačnicku Autodesk Inventor Professional 2017